ORIGINAL
ARCHIVOS DE MEDICINA DEL DEPORTE

Volumen XX
Número 93
2003
Págs. 28-34

VALIDACIÓN BIOMECÁNICA DE UN MÉTODO PARA ESTIMAR LA ALTURA DE SALTO A PARTIR DEL TIEMPO DE VUELO

BIOMECHANICAL VALIDATION OF A METHOD FOR ESTIMATING JUMPING HEIGHT FROM FLIGHT TIME

Juan García López

José Peleteiro López

José A. Rodríguez Marroyo

Juan C. Morante

José G. Villa Vicente

Instituto de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (ICAFD) de Castilla y León.

RESUMEN

Existen tres metodologías básicas para medir la altura del salto vertical: (1) Medición de la distancia entre dos marcas (mano, antebrazo, cintura, cabeza, CG); (2) Registros de fuerza-tiempo; (3) Tiempo de vuelo obtenido mediante plataformas de contacto, plataformas de fuerza, sistemas láser, etc. Se han estudiado las diferencias entre las tres (2-11%), pero no se ha validado la metodología del tiempo de vuelo con otros sistemas. El propósito del presente estudio es validar una nueva metodología de cálculo del salto vertical basada en el tiempo de vuelo y determinar el rango de error al ser comparada con el método de referencia (plataforma de fuerzas).

En primer lugar se diseñó el sistema SportJump-v1.0, compuesto por una plataforma de contacto y un software; posteriormente se validó el sistema de cronometraje con 9 sujetos que realizaron 12 saltos verticales únicos y repetidos (108 tiempos de vuelo y 72 tiempos de contacto) que fueron medidos por: a- SportJump-v1.0 a 1000Hz (SJ), b- Un diodo led filmado por una cámara de alta velocidad a 500 Hz (LED) y c- Plataforma de fuerzas a 1000 Hz (PF).

Los resultados indican SJ y LED no presentan diferencias en la medición de tiempos de contacto y de vuelo, lo que justifica la validación del software SportJump-v1.0; sin embargo subestiman el tiempo de vuelo en 9ms respecto a PF ($p<0.001$), ocurriendo lo contrario en los tiempos de contacto, lo que se explica por la presión necesaria para cerrar el circuito mecánico. En todo caso las diferencias son constantes, puesto que las correlaciones entre los tres sistemas fueron son mayores de 0.98 ($p<0.001$).

En conclusión, se ha validado el sistema SportJump-v1.0 para una precisión de 500Hz, aunque deben tenerse en cuenta las diferencias en los tiempos de contacto y de vuelo registrados sobre plataformas de contacto con respecto a las plataformas de fuerza. Igualmente el sistema SportJump-v1.0 es el único que registra toda la serie de saltos repetidos, aportando facilidades en la obtención y tratamiento de datos.

Palabras clave: Biomecánica. Salto vertical. Sistema SportJump-v1.0. Validación.

SUMMARY

There are three basic methods used to estimate vertical jump height: (1) measuring the distance between two marks (hand, forearm, waist, head, or center of mass); (2) force-time records, and (3) flight time as measured by contact mats, force plates, laser systems, etc. The differences between the three have been studied (2-11%), but the flight time method has not been validated with other systems. The objective of this study is to validate a new method for calculating vertical jump height based on flight time and to determine the range of error when compared to the reference method (force plate). First, the SportJump-v1.0 system was designed, consisting of a contact mat and a software program. The timing system was then validated with 9 subjects who performed 12 single and repeated vertical jumps (108 flight times and 72 contact times) that were measured by: a) the 1000 Hz SportJump-v1.0 (SJ), b) an LED diode filmed by a 500 Hz Kodak Motion Corder camera (LED), and c) a 1000 Hz force plate (FP).

The results indicate that there are no differences between the SJ and LED methods as regards contact time and flight time measurement, thereby validating the SportJump-v1.0; however, it underestimates flight time by 9 ms with respect to the FP ($p<0.001$), just the opposite of what happens with contact times, which can be explained by the amount of pressure needed to close the mechanical circuit. These differences are related to the subjects' weight. In any case, the differences remain constant, since the correlations for all three systems were greater than 0.98 ($p<0.001$).

In conclusion, the SportJump-v1.0 system has been validated for an accuracy of 500 Hz, although the differences in the contact times and flight times recorded with contact plates vs. force plates, must be taken into account. Likewise, the SportJump-v1.0 system is the only one that records a whole series of rebound vertical jumps, making it easier to obtain and process data.

Key words: Biomechanics. Vertical jump. SportJump-v1.0 system. Validation.

CORRESPONDENCIA:

Juan García López. ICAFD de Castilla y León. Universidad de León. 24071 León (Spain). Tel.: +34 987 875794 - Fax: +34 987 876540. E-mail: inejgl@unileon.es

Aceptado: 24-09-2002

INTRODUCCIÓN

Los tests de salto vertical se han utilizado para valorar diferentes manifestaciones de la fuerza de la musculatura extensora de la extremidad inferior, así como para estimar la capacidad y potencia del metabolismo anaeróbico[5,25,21,4]. En la literatura se han descrito tres metodologías para determinar la altura del salto que pueden agruparse en:

Metodología basada en la medición de la distancia entre dos marcas, pudiendo considerarse una extremidad del cuerpo (mano, antebrazo, cintura, cabeza). En esta línea Sargent (1921) describió un protocolo a partir de la diferencia entre una marca inicial y final de los dedos[20], Abalakov (1938) tomó como referencia la altura que se elevaba el centro de gravedad en el salto, utilizando un cinturón fijado en la cadera[5], e igualmente Dal Monte (1983) midió esta altura a partir de un haz de luz infrarroja que se refleja desde el cinturón del sujeto hasta una columna fotosensible[7]. Un modelo bastante original fue propuesto por Sébert *et al.* (1990), quienes fijaron un arnés a la cabeza del sujeto durante el salto, conectándolo a una aguja que marcaba el recorrido de la cabeza en un papel que circulaba a una velocidad uniforme, obteniendo así, el ritmo o tiempo del salto. También puede considerarse el centro de gravedad como punto de marca, si bien es preciso destacar que para ello es necesario asimilar el cuerpo humano a un sistema de segmentos rígidos y realizar una filmación en vídeo o cine de la realización del salto[13,2].

Metodología basada en los registros fuerza-tiempo, ya que mediante plataformas de fuerza se pueden registrar las fuerzas de reacción con el suelo con una precisión muy alta (100-1000Hz), y aplicando las fórmulas adecuadas podremos obtener la velocidad y el impulso en el momento del despegue. Diversos autores se han sumado a la utilización de esta metodología, calculando la altura del salto a partir de la velocidad de despegue y considerando el efecto de la deceleración de la gravedad sobre esa velocidad de despegue[2,11,13].

Metodología basada en la medición del tiempo de vuelo, el cual puede ser obtenido mediante plataformas de contacto, plataformas de fuerza, fotogrametría o bien mediante sistemas láser. Han sido diversos los investigadores que han desarrollado dicha metodología: Bosco (1983) midió la altura alcanzada por el centro de gravedad a partir del tiempo de vuelo del salto registrado sobre una plataforma de contacto[5], otros autores como Alixanov y Alixanova (1987) y Petrov y Zujev (1987) han diseñado plataformas de contacto para medir la altura del salto, con un fundamento similar [1,18]. Además, a partir de los registros en plataformas de fuerzas también se puede obtener el tiempo de vuelo, esto es, contabilizando el tiempo en el que la fuerza que registra la plataforma es igual a cero[13,2]. Otras formas de obtener los tiempos de vuelo han sido la colocación de haces infrarrojos paralelos al suelo y conectados a un contador de tiempo[24] o la utilización de fotogrametría en 2 y 3 dimensiones[2,16].

Las principales críticas a esta última metodología hacen referencia a que las posiciones de despegue y aterrizaje durante el salto no son iguales, lo que ha sido demostrado por Kibele (1998), a partir de la medición de los ángulos de rodillas, tobillos y caderas en dichos momentos; encontrando ángulos significativamente mayores para tobillos y caderas en el despegue que en el aterrizaje[13]. Sin embargo, el propio Hatze (1998) reconoce la utilidad de las plataformas de contacto como método de valoración de la altura del salto vertical en la mayoría de los laboratorios de biomecánica[11]. Sea cual fuere la discusión, cabe resaltar con respecto a esta tercera metodología, que en ningún caso se ha comprobado la validez de estas tecnologías para cronometrar los tiempos de vuelo, sino que se ha presumido que es igual a la máxima precisión del cronómetro. El objetivo del presente estudio es validar una nueva metodología de cálculo del salto vertical basada en el tiempo de vuelo y cuantificar el rango de error que puede inducir al ser comparada con el método de referencia (plataforma de fuerza).

MATERIAL Y MÉTODO

En el presente trabajo participaron 9 sujetos varones con edades comprendidas entre los 11 y 30 años (22,2±5,8 años) y pesos corporales entre 37,4 y 101 Kgs. (68,9±16,3 Kgs.). Todos ellos recibieron la información sobre los objetivos de este estudio en particular y dieron su consentimiento por escrito para participar en el mismo. Primeramente a la fase experimental se creó una plataforma de contacto formada por un circuito mecánico de acero elástico y especialmente duro (Acero EN 10083-2C50); cada pareja de varillas era aislada por pegamento plástico entre sus polos positivo (+) y negativo (-), colocando cada una de ellas paralelas longitudinalmente con una separación de 3cm, muy inferior a la utilizada por otros sistemas como el Ergo Jump Bosco System[19]. Esta plataforma de contacto se conectó al botón derecho de un ratón convencional a través de un “jack mono de 3.5 mm”. El ratón se conectó a un ordenador portátil Pentium 80MHz (Toshiba Satellite Pro 405CS) a través del puerto PS/2. En segundo

lugar se programó el software SportJump-v1.0 para registrar las variables fundamentales (tiempo de contacto y de vuelo) y las variables derivadas (alturas de salto y potencia según las fórmulas propuestas por Bosco en 1983). El software era compatible con el entorno Windows, para lo que se utilizó un controlador de tiempo DSDcrt.dll de precisión 1000Hz y el programa informático Borland Delphi 2.0 para Windows. El nuevo sistema (SportJump-v1.0) se ilustra en la Figura 1.

Con el objeto de validar el SportJump-v1.0, los tiempos de contacto y de vuelo fueron registrados simultáneamente mediante tres sistemas durante la realización del mismo salto: SportJump-v1.0 (SJ), plataforma de fuerzas (PF) y cámara digital de alta velocidad (LED). Para ello, se colocó una plataforma de contacto conectada al SportJump-v1.0 encima de la plataforma de fuerzas extensiométrica triaxial de precisión 1000Hz y sensibilidad 0.1N (Dinascan 600M), realizando la lectura de cero con la plataforma de contacto encima, por lo que no influía su peso. Se consideró tiempo de vuelo en PF a todo el tiempo en el que el valor de fuerza se encontraba en el rango 5N y -5N, tal y como se refiere en la literatura específica[2,13]. A 3 m de distancia de la plataforma de fuerzas se instaló una cámara digital de alta velocidad, con una frecuencia de filmación de 500Hz (Kodak Motion Corder SR-500-C), con la que se filmaba un diodo led (frecuencia de encendido 1000Hz) que era alimentado con dos baterías de 1.5V a través de la plataforma de contacto, considerándose tiempo de vuelo al intervalo en el que el diodo led permanecía apagado, y tiempo de contacto cuando permanecía encendido; este procedimiento ha sido utilizado por otros autores[13]. La disposición de los diferentes sistemas se ilustra en la Figura 2.

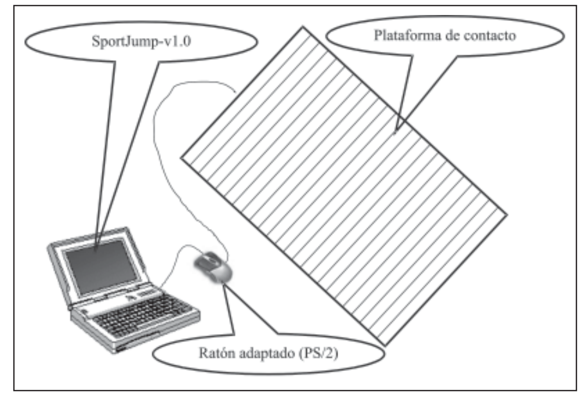


FIGURA 1.- Diseño definitivo del sistema SportJump-v1.0

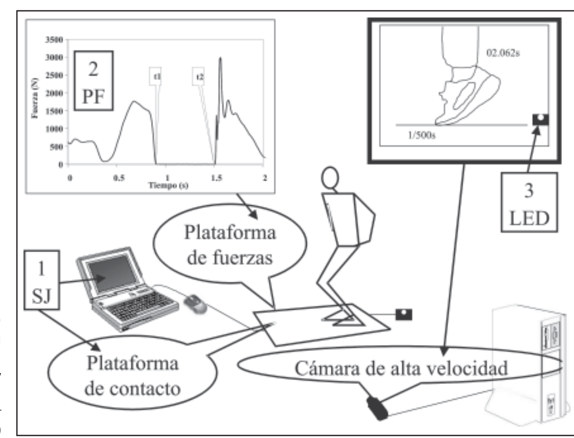


FIGURA 2.- Disposición de la plataforma de contacto, plataforma de fuerzas y cámara de alta velocidad para validar el SportJump-v1.0

Los 9 sujetos que participaron en el estudio realizaron un calentamiento estandarizado de 20 min. tras el cual ensayaron unos saltos verticales sobre la superficie delimitada de la plataforma de contacto (encima de la plataforma de fuerza), con el propósito de familiarizarse con la técnica y mantener el equilibrio en la recepción del salto. Durante la misma sesión de valoración cada sujeto ejecutó un total de 12 saltos verticales únicos (1 salto) y repetidos (2 saltos) de carácter máximo y submáximo, indicándole que el primer salto de cada modalidad debía ser máximo, y que progresivamente disminuiría la intensidad del esfuerzo realizado con el objetivo de obtener una amplia gama de alturas de salto. El descanso entre las series de saltos era, como mínimo de 1min. Durante la realización de los 12 saltos verticales se obtuvieron un total de 108 tiempos de vuelo y 36 tiempos de contacto simultáneamente por los tres sistemas.

Para el tratamiento gráfico y estadístico se han utilizado la Hoja de Cálculo Excel-v7.0 y el programa estadístico *Statistica-v4.5* para Windows. Los resultados se muestran como valores medios y error estándar de la media (E.E.M.). Las diferencias entre medias se calculan mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para datos apareados. Para el cálculo de las correlaciones entre las variables se utilizó la prueba no paramétrica de Spearman, representándose los valores como "r" y "r cuadrado". Los niveles de significación "p" se han identificado como: n.s.= no significativa o $p>0.05$; *= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$.

RESULTADOS

Comparación entre los tiempos de vuelo y de contacto de los tres sistemas

En la Figura 3 se observa que no existen diferencias entre los tiempos de vuelo registrados mediante el *software* SportJump-v1.0 (SJ) y la cámara de alta velocidad (LED),

pero sí entre éstos y la plataforma de fuerzas (PF). El valor de dichas diferencias es de unos 9 ms ($p<0.001$) (Tabla 1).

En la Figura 4 siguen sin apreciarse diferencias entre los sistemas SJ y LED, pero los valores de tiempo de contacto son menores respecto a PF. La cuantía de las diferencias es de unos 7 ms ($p<0.001$), debiendo tener en cuenta que el número de saltos analizado es menor (n= 36) (Tabla 1).

Se han obtenido correlaciones entre las diferencias (ms) al registrar el tiempo de vuelo por los tres sistemas y el peso de los sujetos (kg.). Existe un comportamiento diferente entre los sistemas que se alimentan a través de la plataforma de contacto (SJ y LED) y los que no dependen de ésta (PF), ya que las diferencias SJ-PF ($r= -0,22$ y $p<0,05$) y LED-PF ($r=-0,19$ y $p<0,05$) se relacionan significativamente con el peso; no así la diferencia SJ-LED ($r= -0,14$ y $p>0,05$).

Correlaciones entre los tres sistemas de registro de tiempos

Mediante la prueba no paramétrica de Spearman se han estudiado las correlaciones (r) entre los tiempos de vuelo y de contacto de los tres sistemas de registro utilizados (Tabla 2), observándose entre todos ellos las altas relaciones obtenidas, con valores muy próximos a la unidad, y con altísimos niveles de significación estadística ($p<0,001$). Es de destacar la relación entre los tiempos de vuelo y de contacto del SportJump-v1.0 con respecto al método de referencia (plataforma de fuerzas). En la Figura 5 se muestra la relación entre los tiempos de vuelo registrados mediante PF y SJ (r cuadrado = 0,968, $p<0,001$), y en la Figura 6 entre los tiempos de contacto de los mismos sistemas (r cuadrado = 0.981, $p<0,001$).

DISCUSIÓN

Validación del sistema SportJump-v1.0 para el registro de saltos verticales

Las diferencias cuantitativas encontradas entre los tres sistemas parecen indicar que existen factores que pueden alterar la medición de la altura del salto. En anteriores estudios donde se compararon los métodos gravitacional (Test de Bosco) y de diferencia de marcas (Sargent) estos factores se relacionaban con una disparidad de criterios a la hora de considerar cuáles eran las posiciones de inicio (despegue) y final (aterrizaje) del salto, ya que en los tests de salto realizados sobre plataforma de contacto la posición del centro de gravedad en el momento de despegue es unos 10 cm más elevada[9,13,17]. Sin embargo, nuestros resultados reflejan que también se pueden apreciar diferencias significativas cuando se mantiene la uniformidad de criterios sobre dichas posiciones, lo que induce a considerar que existan otros factores que puedan afectar al registro o medición.

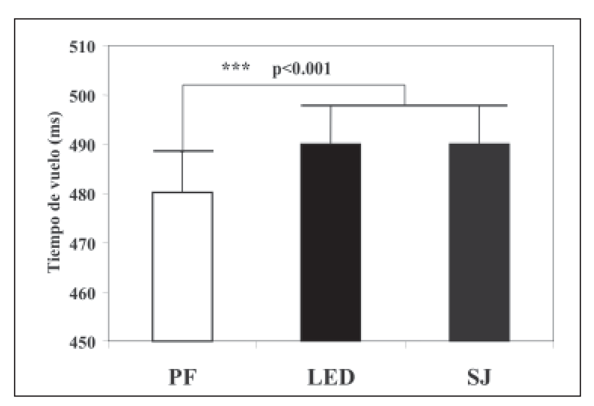


FIGURA 3.- Tiempos de vuelo de los saltos verticales (n=108) registrados mediante SJ, PF y LED. *** = p<0,001

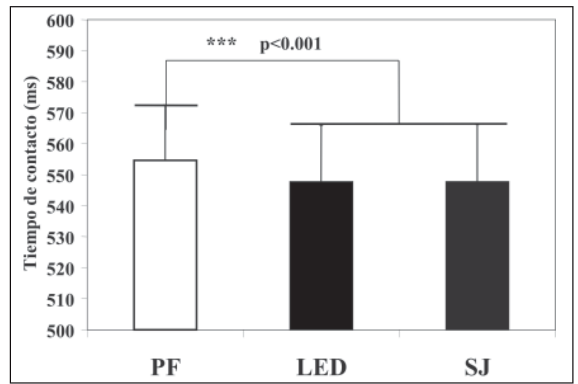


FIGURA 4.- Tiempos de contacto de los saltos verticales (n=36) registrados mediante SJ, PF y LED. *** = p<0,001

	Sistemas	Ensayos (n)	Diferencia(ms) y nivel de significación(p)
Tiempo de vuelo	SJ-PF	108	9,2 ± 1,3***
	SJ-LED	108	0,2 ± 0,7
	LED-PF	108	9,0 ± 1,1***
Tiempo de contacto	SJ-PF	36	6,9 ± 2,7***
	SJ-LED	36	0,0 ± 1,8
	LED-PF	36	6,9 ± 2,5***

Sistemas: SportJump-v1.0 (SJ), Plataforma de fuerzas (PF), Cámara de alta velocidad (LED). Significación estadística de las diferencias (p):***= p<0.001.

TABLA 1.- Diferencias absolutas en los tiempos de vuelo y de contacto entre los diferentes sistemas

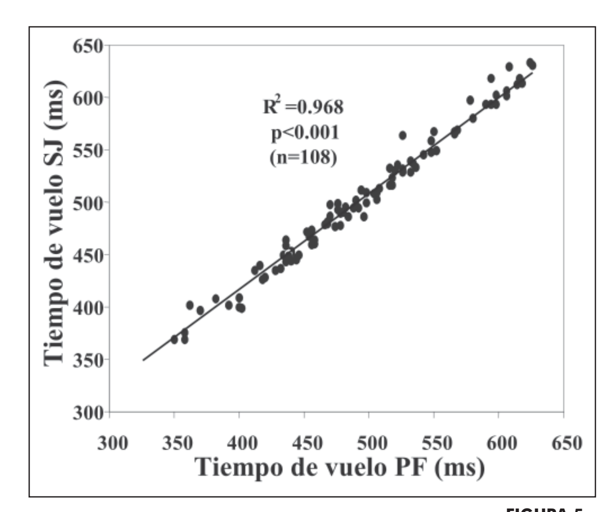


FIGURA 5.-
Correlación (R^2) entre el tiempo de vuelo registrado mediante SJ y PF

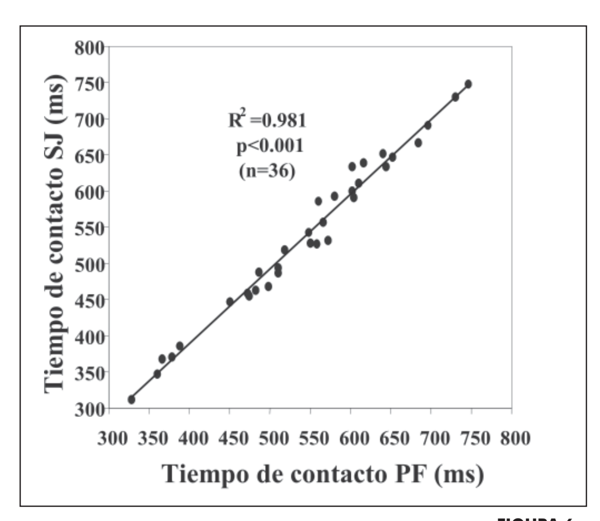


FIGURA 6.-
Correlación (R^2) entre el tiempo de contacto registrado mediante SJ y PF

LED y SJ miden igual el tiempo de vuelo y de contacto, presentando correlaciones muy elevadas, lo que sería suficiente para justificar la validación del software SportJump-v1.0, ya que cuando el circuito de varillas de la plataforma de contacto se abre o se cierra (respectivamente) la señal se registra de forma precisa por el ordenador.

Tiempo de vuelo			Tiempo de contacto		
SISTEMA	SJ	LED	SISTEMA	SJ	LED
SJ			SJ		
LED	0,995***		LED	0,997***	
PF	0,984***	0,990***	PF	0,989***	0,995***

Sistemas: SportJump-v1.0 (SJ), Plataforma de fuerzas (PF), Cámara de alta velocidad (LED).
Significación estadística de las diferencias (p): ***= p<0.001.

TABLA 2.-
Correlaciones entre los tiempos de vuelo y de contacto registrados por los 3 sistemas

A pesar de las discrepancias sobre los resultados obtenidos en plataforma de fuerzas, la utilización de este método como procedimiento de referencia está ampliamente justificada por los pequeños errores (0,21-0,41%) que introduce para las variables tiempo y fuerza, respectivamente[11]. Los registros de la plataforma de fuerzas difieren en una cuantía de 9 ms ó 1,8% respecto del registro observado mediante los sistemas LED y SJ, las altas correlaciones entre los 3 métodos justifican la influencia constante de una variable que parece guardar relación con la presión necesaria para cerrar el circuito de varillas. Ello implica que cuando el sujeto está ejerciendo presión sobre la Plataforma de Fuerzas justo antes del momento de despegue o después del aterrizaje, el circuito ya se ha abierto y todavía no se ha cerrado, respectivamente, provocando que el cronómetro del SportJump-v1.0 se encienda y apague antes y después de lo que lo hace la Plataforma de Fuerzas. Además, se debe destacar la relación positiva encontrada entre el peso de los sujetos y las diferencias entre los métodos citados, provocada quizás, por una variación más rápida en los valores de fuerza en el despegue y aterrizaje, que ha sido denominado por otros autores como gradiente de carga y de descarga[7,10]. Estos gradientes de carga también dependen de la técnica de cada sujeto, que es independiente del peso. Otros sistemas de medición como el utilizado por Viitasalo *et al.* (1997), miden los tiempos de contacto y de vuelo con tecnología láser, subestimando los tiempos de vuelo y sobreestimando los tiempos de contacto conforme se aumenta la altura de la banda láser paralela al suelo[23], justo lo contrario de lo que se ha obtenido en el presente estudio.

Aportaciones del SportJump-v1.0 respecto de otros sistemas de registro

Los sistemas para medir saltos verticales repetidos no habían permitido obtener "valores pico" de alturas de salto, tiempos de contacto y potencias a lo largo de la realización del test, y tampoco la evolución de estas variables salto a salto. En la bibliografía existe alguna referencia que encuentra, con otro tipo de medios, "valores pico" de potencia a lo largo de la realización de un test, pero no son específicos[3,14,15,17]; son referencias de medios demasiado sofisticados para emplearlos en el ámbito del entrenamiento deportivo y poco aplicados para la mayoría de las disciplinas deportivas.

El sistema SportJump-v1.0 es un sistema de registro de saltos verticales fácil de manejar y de transportar, por lo que también puede ser utilizado para las valoraciones de campo. Ofrece la posibilidad de obtener tiempos de con-

tacto y de vuelo en todos y cada uno de los saltos de una serie (que es precisamente lo que otros métodos no pueden registrar sin interrupción de la secuencia de saltos), permitiendo analizar la cinemática del salto vertical[8]. Los primeros estudios se han llevado a cabo con varios grupos de deportistas, observándose diferentes perfiles en la evolución de la altura de salto (curvas de fatiga) a lo largo de la realización de un test de 30 saltos máximos repetidos[8].

Importancia de la precisión de los contadores de tiempo de vuelo para medir la altura del salto

En el presente estudio el sistema SportJump-v1.0 se ha validado para una precisión en el registro de tiempos de vuelo y de contacto de 500Hz, ya que se ha comparado con otros sistemas (PF y LED) de precisión similar o mayor. En este sentido, Hertogh *et al*. (1991), resaltaron que una de las principales diferencias entre las plataformas dinamométricas actuales y las diseñadas en 1930 radicaba en la frecuencia o precisión en la recogida de datos, pasando de 35Hz a 400 Hz[12]. Winter *et al*. (1996) afirmaron que la precisión del instrumental de medida debe estar contrastada para que los resultados de los tests sean fiables[25].

En el cálculo de la altura del salto vertical se han utilizando plataformas de contacto con precisiones de 100Hz[1,18], y también de 1000Hz[5], no habiéndose validado ninguna de ellas. En este sentido Kibele (1998) cuantifica errores de 1.1 y 1.6 cm. para el desplazamiento del centro de gravedad calculado mediante fotogrametría por el hecho de no disponer de un sistema de filmación con mayor precisión de 200Hz, que son los sistemas más utilizados para calcular la altura alcanzada por el centro de gravedad durante el salto[2,11,13]. Se debe destacar que el sistema SportJump-v1.0 se ha validado para una precisión mínima de 500Hz.

CONCLUSIONES

Se ha validado el sistema SportJump-v1.0 para una precisión de 500Hz pudiendo utilizarse para medir la altura del salto vertical a partir del tiempo de vuelo, pero las diferencias cuantitativas encontradas con respecto a la plataforma de fuerzas sugieren la importancia de utilizar siempre el mismo sistema cuando se pretenden comparar los resultados absolutos de salto.

Las principales aportaciones de este sistema es que resulta muy aplicable en el campo deportivo, así como es el único que permite analizar los saltos de una serie repetida uno a uno, estudiando la evolución de la altura, tiempo de contacto y potencia, y ofreciendo mejores posibilidades en el tratamiento y almacenamiento de los datos que los sistemas diseñados hasta hoy día.

AGRADECIMIENTOS: *Los autores agradecen al Consejo Superior de Deportes la financiación de este trabajo a través del Proyecto "Cinemática de la saltabilidad: validación y especificidad de un test de saltos máximos repetidos hasta el agotamiento y su utilidad como indicador de la potencia anaeróbica", dentro de la convocatoria de concesión de ayudas a entidades en el ámbito de las Ciencias del Deporte (BOE de 24 de junio de 1999).*

B I B L I O G R A F I A

1. **Alixanov II, Alixanova LI.** Compteur chronometre utilise lors des experiences et des recherches en sport. *Teor.Prakt. Fiz. Kult.* 1987;7:48-51.

2. **Baca A.** A comparison of methods for analyzing drop jump performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31(3): 437-42.

3. **Beckenholdt SE, MAYHEW JL.** Specifity among anaerobic power test in male athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 1983; 23(3): 326-32.

4. **Bobbert MF, Gerritsen KGM, Litjens MCA, Van-Soest AJ.** Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28(11):1402-12.

5. **Bosco C, Luhtanen P, Komi PV.** A simple method for measurement of mechanical power in Jumping. *Eur J Appl Physiol* 1983;50(2):273-82.

6. **Dal Monte A.** *La valutazione funzionale dell'atleta*. Firenze: Sansoni, 1983.

7. **Ferro A, Graupera JL, Blasco MI, Barceló O, Antón E.** Análisis cinemático de la carrera en velocistas ciegos. In: *M.E.C.* (Eds.) Madrid: Análisis biomecánico de las técnicas deportivas. 1996; 9-50.

8. **García J.** *Aplicaciones tecnológicas para la valoración biomecánica de la cinemática del salto vertical y la evaluación funcional de un umbral anaeróbico en el fútbol*. Tesis Doctoral. 2000, Universidad de León.

9. **García J, Rodríguez JA, Morante JC, Villa JG.** Comparación de saltos verticales realizados según las metodologías de Bosco y Sargent. *Archivos de Medicina del Deporte* 1999; 16 (Sup. esp.): 553.

10. **Gavilanes MB, Anza MS.** ¿Son simétricos los perfiles de la fuerza de reacción del suelo sobre la marcha normal?, En: *Biomecánica de la*

fuerza muscular y su valoración. Ed. Consejo Superior de Deportes, 1999;21:57-68.

11. **Hatze H.** Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. *J Appl Biomech* 1998;14:127-40.

12. **Hertogh C, Micallef JP, Vaissière F.** Test d´evaluation de la puissance maximale. *Sci Sports* 1991;6(3):185-91.

13. **Kibele A.** Possibilities and limitatios in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a methodological study. *J Appl Biomech* 1998; 14:105-17.

14. **Lee SCK, Becker CN, Binder-MaCleod SA.** Catchlike-inducing train activation of human muscle during isotonic contractions: burst modulation. *J Appl Physiol* 1999;87(5):1758-67.

15. **MacDougall JD, Wenger HA, Green AJ.** Physiological testing of the high-performance athlete. *Human Kinetics* 1991, Champaign.

16. **Morgenstern R, Porta J, Ribas J, Parrero JL, Ruano D.** Análisis comparativo del test de Bosco con técnicas de video en 3 D Peak Performance. *Apunts* 1992;29(113):225-31.

17. **Péres G, Vandewalle H, Monod H.** Comparaison de trois méthodes de mesure de puissance maximale anaerobie des membres inférieurs. *Cinesiologie* 1988;27(121):241-9.

18. **Petrov BC, Zujev VN.** Le " graviton", un appareil destine a mesurer l' aptitude a sauter des athletes et a determiner leurs caracteristiques de vitesse-force. *TeorPrakt Fiz Kult* 1987;9:54-5.

19. **Psion Organiser II.** *Manual de instrucciones*. Barcelona: MAC. GRAPH: 1996.

20. **Sargent DA.** Physical test of man. *Am Phys de Rev* 1921;26:188.

21. **Sebert P, Barthelemy L.** Puissance anaerobie alactique et detente verticale: mesure ou calcul?. *Science and sports* 1993;8(4):269-70.

22. **Sébert P, Barthelemy L, Dietman Y, Douguet C, Boulay J.** A simple device for measuring a vertical jump: description and results. *Eur J Appl Physiol* 1990;61(3-4):271-3.

23. **Viitasalo JT, Rahkila P, Oesterback L, Alen M.** Vertical jumping height and horizontal overhead throwing velocity in young male athletes. *J Sports Sci* 1992;10(5):401-13.

24. **Viitasalo JT, Luhtanen P, Monone HV, NorvapaloK, PaavolaineneL, Salonen, .** Photocell contact mat; a new instrument to measure contact and flight times in running. *J Appl Biomech* 1997;13(2):254-66.

25. **Winter EM, Brown D, Roberts NKA, Brookes FBC, Swaine IL.** Optimized and corrected peak power output during friction-braked cycle ergometry. *J Sports Sci* 1996;14(6):513-21.